



DE4233336

Biblio

Desc

Claims

Page 1

Drawing

**esp@cenet**

**Focussing error detection using Michelson interferometer -  
evaluating periodic frequency or phase of interference pattern  
formed at detector by two reflected sub-beams**

Patent Number: DE4233336  
Publication date: 1994-04-07  
Inventor(s): KUECHEL MICHAEL DR (DE)  
Applicant(s): ZEISS CARL FA (DE)  
Requested Patent: ☐ DE4233336  
Application Number: DE19924233336 19921005  
Priority Number(s): DE19924233336 19921005  
IPC Classification: G02B7/28; G01B9/02  
EC Classification: G02B7/32  
Equivalents: ☐ JP6194125

**Abstract**

Light transmitted in two parallel sub beams (6,7) parallel to and at equal distances from the optical axis is focused towards the object (10) by an objective lens (8). The reflected light from both sub-beams is superimposed and detected.

The position error or the variation in the position error is determined from the periodic frequency of the interference pattern which is formed at the detector or detectors (15,16,19,20) or from the derivative of the phase values of the interference pattern.

USE/ADVANTAGE - For detecting deviations of object from focal point of objective lens, e.g. for use in mfg. to determine positions and measure distances. Resolutions of less than 1 micron can be achieved for unambiguity ranges of over 100 microns.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**  
**DE 42 33 336 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 02 B 7/28**  
G 01 B 9/02

②1 Aktenzeichen: P 42 33 336.9  
②2 Anmeldetag: 5. 10. 92  
④3 Offenlegungstag: 7. 4. 94

DE 42 33 336 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89520 Heidenheim, DE

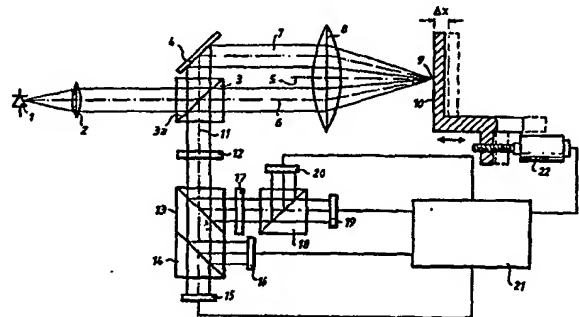
⑦2 Erfinder:  
Küchel, Michael, Dr., 7082 Cberkochen, DE

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Detektion von Fokusablagen

⑤7 Die vorliegende Erfindung betrifft ein interferometrisches Verfahren und einen interferometrischen Meßkopf zur Detektion von Fokusablagen oder Ablageänderungen eines Objektes (10). Das Licht einer teilkohärenten Lichtquelle (1) wird von einem Strahlteiler (3) in zwei zueinander parallele Teilstrahlengänge (6, 7) aufgeteilt, die vom Objektiv (8) unter betragsmäßig gleichen Winkeln auf das Objekt (10) fokussiert werden. Nach der Reflexion am Objekt (10) durchläuft das Licht eines jeden Teilstrahlenganges im wesentlichen den jeweils anderen Teilstrahlengang (6, 7). Nach Ausspiegelung am Strahlteiler (3) wird das Licht beider Teilstrahlengänge (6, 7) auf Detektoren (15, 16, 19, 20) interferenzfähig überlagert. Je nach Ablage des Objektes (10) vom Brennpunkt (9) des Objektivs (8) entstehen auf den Detektoren (15, 16, 19, 20) Interferenzmuster, deren Periodizität ein absolutes Maß für die Fokusablage ist.

In einem ersten Ausführungsbeispiel werden Betrag und Richtung der Fokusablage aus vier jeweils um 90° phasenversetzten Mustern bestimmt. In einem zweiten Ausführungsbeispiel ist im Interferometerausgang ein Wollaston-Prisma (123) vorgesehen, das auf dem einzigen Sensor (115) ein Muster mit einer Trägerfrequenz erzeugt. Die Information über die Fokusablage ist dieser Trägerfrequenz durch Phasenmodulation überlagert.

Dadurch weicht die detektierte Frequenz je nach Richtung der Fokusablage in Richtung größerer oder kleinerer Frequenzen von der Trägerfrequenz ab, so daß auch ...



DE 42 33 336 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 94 408 014/229

12/41

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Detektion von Ablagen oder Ablageänderungen eines Objektes von der Brennebene eines Objektivs.

In der fertigungsbegleitenden Meßtechnik besteht eine der grundlegenden Aufgaben in der Messung von Längen und Abständen. Vielfach wird hierzu eine berührungslose Antastung gefordert, beispielsweise bei der Vermessung von Objekten mit einer weichen Objektoberfläche.

Aus der Druckschrift der Firma "Applied Laser Technology" mit dem Titel "A novel optoelectronic instrument for on-line precise measurements", Niederlande 1987, ist ein optoelektronischer Meßkopf bekannt, bei dem zwei Laserdioden jeweils einen kollimierten Lichtstrahl erzeugen, die beide von einem gemeinsamen Hauptobjektiv in dessen Brennpunkt fokussiert werden. Das an einem Objekt gestreute Licht wird von dem Hauptobjektiv wieder aufgesammelt und von einer Kollimationslinse auf einen positionsempfindlichen Detektor fokussiert. Die Position des Lichtflecks auf dem positionsempfindlichen Detektor ist ein Maß für den Abstand des Objektes vom Brennpunkt des Hauptobjektivs. Dieser nach dem Prinzip der Triangulation arbeitende Meßkopf liefert eine Meßauflösung von unter 0,2 µm bei einem maximalen Meßbereich von 40 mm. Da die Meßauflösung innerhalb des Meßbereiches stark unterschiedlich ist, wird der Meßkopf zur Messung solange auf das Objekt zu bzw. von ihm weg bewegt, bis der zu vermessende Objektpunkt im Fokus des Hauptobjektivs liegt. Die Bewegung des Meßkopfs wird durch die Signale des positionsempfindlichen Detektors gesteuert.

Da sowohl der Antastpunkt auf dem Objekt als auch dessen Bild auf dem positionsempfindlichen Detektor einen endlichen Durchmesser hat, ist es zum Erreichen der maximalen Meßauflösung erforderlich, den Schwerpunkt des Bildpunktes auf dem positionsempfindlichen Detektor zu bestimmen. Hat das Meßobjekt innerhalb des angetasteten Bereiches unterschiedliche Streu- oder Reflexionseigenschaften, so treten bei der Schwerpunktsbestimmung Fehler auf, die das Meßergebnis verfälschen.

Desweiteren sind zur Oberflächenvermessung interferometrische Meßverfahren bekannt. Ein recht guter Überblick über diese Verfahren ist in dem Aufsatz "Interferometrische Verfahren zur Rauigkeitsmessung" in Laser und Optoelektronik Vol. 22, Seite 76, (1990) gegeben. Mit diesen Verfahren sind Meßauflösungen im Bereich von Bruchteilen der Lichtwellenlänge möglich. Durch Anwendung der Heterodyn-Interferometrie mit zwei geringfügig unterschiedlichen Lichtwellenlängen lassen sich von den Reflexionseigenschaften der Objektoberfläche unabhängige Meßsignale gewinnen. Der Eindeutigkeitsbereich ist jedoch auf die Hälfte der Lichtwellenlänge beschränkt. Eine Erweiterung des Meßbereiches ist zwar durch die Zwei-Wellenlängen-Interferometrie, bei der das Meßobjekt nacheinander mit zwei unterschiedlichen Wellenlängen vermessen wird, möglich. Der Eindeutigkeitsbereich entspricht dann der aus den beiden Wellenlängen gebildeten Schwebungswellenlänge, die bei Verwendung von sichtbarem Licht bis zu etwa 100 µm betragen kann.

Sowohl aus dem letztgenannten Aufsatz als auch aus der US-PS 3 958 884 sind Anordnungen bekannt, bei denen das Meßobjekt auch gleichzeitig die Referenzfläche

darstellt. Es wird dann die Objektoberfläche relativ zu sich selbst ohne jeglichen Bezug zu einem außerhalb der Objektoberfläche liegenden Koordinatenursprung gemessen.

Es ist das Ziel der Erfindung, Verfahren und zugehörige Meßvorrichtung anzugeben, die Meßauflösungen von unter 1 µm bei Eindeutigkeitsbereichen über 100 µm ermöglichen, und bei denen die Meßergebnisse durch unterschiedliche Streu- oder Reflexionseigenschaften der angetasteten Objektbereiche nicht verfälscht werden.

Dieses Ziel wird erfindungsgemäß durch ein Meßverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Meßvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 3 gelöst.

Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist, daß die Fokusablage oder Ablageänderung des Objektes anhand der Periodenfrequenz bzw. der mathematischen Ableitung der Phasenwerte eines durch Interferenz zweier Teilstrahlengänge entstehenden Streifenmusters bestimmt wird. Zur Erzeugung dieses Interferenzmusters können zwei kollimierte Lichtstrahlen, die parallel und in gleichem Abstand zur optischen Achse eines Objektivs geführt sind, in Richtung auf das Objekt fokussiert werden. Das Objektiv fokussiert beide Teilstrahlengänge unter betragsmäßig gleichen Winkeln auf das Objekt. Das am Objekt reflektierte Licht beider Teilstrahlengänge wird dann interferenzfähig überlagert und detektiert. Im Falle, daß der angetastete Objektbereich außerhalb des Brennpunktes des Objektivs liegt, sind die Teilstrahlengänge des am Objekt gestreuten und von dem Objektiv aufgesammelten Lichtes zueinander geneigt. Bei interferenzfähiger Überlagerung dieser beiden zueinander geneigten Teilstrahlengänge entstehen dann Kippungsstreifen, deren Streifenfrequenz von dem Winkel zwischen beiden Teilstrahlengängen und damit vom Abstand des angetasteten Objektbereiches vom Brennpunkt des Objektivs in Richtung der optischen Achse abhängt.

Bei Kenntnis der geometrischen Faktoren des Meßaufbaus ist es prinzipiell möglich, die Frequenz des Streifenmusters selbst als absolutes Abstandsmaß zu verwenden. Da jedoch auch bei diesem Meßverfahren die Meßauflösung innerhalb des Meßbereiches variiert, ist es zur Erzielung höchster Meßgenauigkeiten vorteilhaft, aus der Streifenfrequenz ein Fokussteuersignal zu gewinnen, mit dessen Hilfe der Abstand zwischen dem Meßkopf und dem Meßobjekt optimiert wird, d. h. das Meßobjekt wird in die Brennebene des Objektivs gebracht.

Eine erfindungsgemäße Meßvorrichtung hat ein Objektiv, das das in zwei parallelen und im gleichen Abstand zur optischen Achse liegenden Teilstrahlengängen geführte Licht in Richtung auf das Objekt fokussiert und das am Objekt gestreute oder reflektierte Licht aufammelt. Das Licht beider Teilstrahlengänge wird von einer einzigen Lichtquelle erzeugt und von einem Strahlteiler in die beiden Teilstrahlengänge gelenkt, damit die spätere interferenzfähige Überlagerung des reflektierten Lichts möglich ist. Desweiteren weist die erfindungsgemäße Vorrichtung Mittel zur interferenzfähigen Überlagerung des am Objekt reflektierten Lichts beider Teilstrahlengänge, mindestens einen Sensor zur Detektion des durch die interferenzfähige Überlagerung entstehenden Musters und einen Auswerterechner zur Berechnung der Periodizität des Musters auf. Wichtig ist dabei, daß das Licht in beiden Teilstrahlengängen entweder eine gerade oder in beiden Teilstrahlengängen

gen eine ungerade Anzahl an Reflexionen erfährt.

Der Strahlteiler ist vorzugsweise als Polarisationsstrahlteiler ausgebildet und dient gleichzeitig zur Überlagerung des am Objekt reflektierten Lichts beider Teilstrahlengänge. Dadurch treten einerseits bei der Überlagerung keine Verluste auf und andererseits entstehen auf dem Objekt selbst keine Interferenzfiguren, da dort das Licht beider Teilstrahlengänge zueinander senkrecht polarisiert ist.

Grundsätzlich sind die Meßergebnisse mit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung unempfindlich gegenüber Drehung der Meßobjektnormalen zur optischen Achse des Objektivs, solange die zurückreflektierten Bündel innerhalb der Objektivapertur liegen. Eine Neigung der Meßobjektnormalen zur Objektivachse führt lediglich zu einer Wanderung der Streifen auf dem Detektor bei konstanter Streifenfrequenz.

Zur Vermeidung einer solchen Streifenwanderung kann hinter dem Polarisationsstrahlteiler im überlagerten Bereich der Teilstrahlengänge eine viertel Wellenlängenplatte und nachfolgend eine ebener Spiegel angeordnet sein. Dadurch ergibt sich eine Doppelpaßanordnung, bei der zu dem noch die Meßauflösung verdoppelt ist. Die Ausspiegelung auf den Detektor erfolgt dann über einen zweiten Strahlteiler.

Hat das Licht in den beiden Teilstrahlengängen eine zueinander senkrechte Polarisation, so sind für die Bildung des Interferenzmusters zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Dazu kann vor dem Sensor ein Analysator vorgesehen sein, dessen Durchlaßrichtung in einem Winkel von  $45^\circ$  zur Polarisationsrichtung beider Teilstrahlengänge steht.

Vorzugsweise sollte sowohl der Betrag der Fokusablage des Meßobjektes als auch dessen Richtung meßbar sein. Dazu sind in einem ersten Ausführungsbeispiel vier Sensoren vorgesehen, die jeweils um  $90^\circ$  phasenverschobene Muster detektieren. Jeder dieser vier Sensoren ist dabei als zweidimensionaler Kamerasensor ausgebildet. Bei einem zweiten, besonders einfachen Ausführungsbeispiel ist nur ein einziger Sensor und vor dem Analysator zusätzlich ein Wollastonprisma vorgesehen. Durch die polarisationsabhängige Winkelablenkung des Wollaston-Prismas erhalten die beiden Teilstrahlengänge auf dem Sensor einen leichten Winkelversatz zueinander. Es entsteht dann bereits ein Streifenmuster, wenn das Meßobjekt im Fokus des Meßobjektivs angeordnet ist. Die Frequenz dieses Streifenmusters ist durch die Winkelaufspaltung des Wollastonprismas gegeben. Eine Verschiebung des Meßobjektes in Richtung des Objektivs oder vom Objektiv weg führt dann zu einer Erniedrigung oder Vergrößerung der Streifenperiode, wodurch die Bewegung eindeutig detektierbar ist.

Der Sensor oder die Sensoren können zweidimensionale Kamerasensoren sein. Da das Interferenzmuster jedoch ein Streifenmuster ist, und daher die Periodizität nur in einer Richtung auftritt, ist es besonders vorteilhaft als Sensoren Zeilensensoren vorzusehen, und diese entlang der Fokuslinie einer jeweils vorgeschalteten Zylinderlinse anzuordnen. Die Zylinderlinse bewirkt dabei eine optische Mittelung in Echtzeit.

Als besonders vorteilhaft erweist sich eine Ausführungsform, bei der das Licht eines jeden Teilstrahlenganges nach der Reflexion am Objekt jeweils im wesentlichen im jeweils anderen Teilstrahlengang geführt ist. Bei einem im Fokus angeordneten Objekt stellt diese Anordnung ein Ring-Interferometer dar, in dem das Licht auf dem selben optischen Weg, jedoch je nach Polarisation in entgegengesetzter Richtung umläuft. Bei

einem defokussierten Objekt haben die entgegengesetzt im Ringinterferometer umlaufenden Wellen lediglich diejenige Wegdifferenz, die aus der gegenseitigen Neigung beider Wellen resultiert. Daher kann als Lichtquelle eine solche mit geringer zeitlicher Kohärenz verwendet sein, wodurch auch bei der Antastung rauher Objektoberflächen das Auftreten von Speckeln gemindert ist.

Die Polarisationsstrahlteiler können gewöhnliche Polarisationssteilerwürfel sein. Für die parallele Ausrichtung beider Teilstrahlengänge ist dann noch ein zusätzlicher Spiegel erforderlich. Eine wesentlich weniger aufwendige Ausgestaltung sieht als Polarisationssteiler eine dicke planparallele Platte vor, dessen eine Fläche teilweise mit einer polarisationsteilenden und dessen andere Fläche teilweise mit einer einfachteilenden Beschichtung versehen ist. Ein zusätzlicher Spiegel ist dann nicht erforderlich.

Um einen maximalen Kontrast der Interferenzstreifen bzw. des Interferenzmusters auf dem Sensor zu erreichen, sollte jeder Teilstrahlengang innerhalb des Interferometers die gleiche Anzahl an Reflexionen erfahren und gleiche Glaswege durchlaufen. Dieses ist möglich mit einem zusammengesetzten Prisma, das in einer die optische Achse des Objektivs enthaltenden Ebene eine polarisationsteilende Schicht hat, und indem jeder Teilstrahl unabhängig von seiner Polarisation zwischen dem Ein- und dem Austritt drei Reflexionen erfährt. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist kein zusätzlicher Spiegel erforderlich.

Um zusätzlich den bei der Reflexion am Objekt auftretenden Phasensprung zu ermitteln, kann bei der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung noch ein zweites Interferometer über einen Strahlteiler mit einem eigenen Zeilensensor und einer Referenzfläche derart angeschlossen sein, daß eine an der Referenzfläche reflektierte Teilwelle mit einer an dem Objekt reflektierten Teilwelle interferiert.

Im folgenden werden Einzelheiten der Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Im einzelnen zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit vier Sensoren;

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung mit einem einzigen Zeilensensor;

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Doppelpaß-Anordnung;

Fig. 4a den Meßkopf eines Ausführungsbeispiels mit einer planparallelen Platte als Polarisationsstrahlteiler und

Fig. 4b den Meßkopf einer Ausführungsbeispiels, bei dem die Anzahl der Reflexionen beider Teilstrahlengänge gleich ist;

Fig. 5 ein viertes Ausführungsbeispiel, bei dem die Meßvorrichtung Fig. 2 mit einem Michelsoninterferometer kombiniert ist.

Der Meßkopf in Fig. 1 hat als Lichtquelle eine superhelle Leuchtdiode (1), dessen Licht eine geringe zeitliche Kohärenz aufweist. Die Leuchtdiode (1) ist im Brennpunkt eines Kollimators (2) angeordnet. Der kollimierte Lichtstrahl, der zwei zueinander senkrechte Polarisationsanteile enthält, wird von der polarisationsteilenden Schicht (3a) eines Polarisationssteiler-Prismas (3) in zwei Teilstrahlenbündel mit zueinander senkrechter Polarisation aufgeteilt. Mit Hilfe eines Spiegels (4) sind beide

Teilstrahlengänge, deren optische Achsen mit (6) bzw. (7) bezeichnet sind, parallel zueinander ausgerichtet. In beiden Teilstrahlengängen (6, 7) ist ein Objektiv (8) angeordnet, dessen optische Achse (5) zu den optischen Achsen der beiden Teilstrahlengänge (6, 7) jeweils den gleichen Abstand hat. Die optischen Achsen (6, 7) beider Teilstrahlengänge und die optische Achse (5) des Objektivs (8) liegen in einer gemeinsamen Ebene. Das Objektiv (8) fokussiert das kollimierte Licht beider Teilstrahlengänge (6, 7) in den Brennpunkt (9), in dem sich der anzutastende Punkt des Meßobjektes (10) befindet.

Nach der Reflexion an der Meßobjektoberfläche (10) wird das reflektierte Licht vom Objektiv (8) wieder aufgesammelt. Dabei durchläuft nun das an der Polarisationssteuerschicht (3a) transmittierte Licht, das entlang des Teilstrahlenganges (6) zum Objekt (10) geführt wurde, auf dem Rückweg den Teilstrahlengang (7). Entsprechend umgekehrt durchläuft das an der Teilerschicht (3a) reflektierte Licht nach der Reflexion am Meßobjekt (10) den Teilstrahlengang (6). Beide Teilstrahlengänge werden dann durch die Teilerschicht (3a) wieder einander geometrisch überlagert zum Interferometerausgang (11) gelenkt. Da beide Polarisationsrichtungen innerhalb des Interferometers, also zwischen der Teilung durch die polarisationsteilende Schicht (3a) zum Meßobjekt (10) und wieder zurück zur polarisationsteilenden Schicht (3a) gleiche optische Wege zurücklegen, ist die Anordnung weißlichtfähig.

Hinter dem Interferometerausgang (11) ist zunächst eine  $\lambda$ -halbe Platte (12) und darauf folgend ein 50%-Strahlteiler (13) angeordnet. Im transmittierten Zweig des 50%-Strahlteilers (13) ist unmittelbar dahinter ein Polarisationsstrahlteiler (14) angeordnet, der das Licht je nach Polarisation auf zwei Kamerasensoren (15, 16) lenkt. Die Kamerasensoren (15, 16) zeichnen dabei Interferenzstreifenmuster auf, die zueinander um  $180^\circ$  in der Phase verschoben sind. In dem am 50%-Strahlteiler (13) abgelenkten Strahlengang folgt zunächst eine  $\lambda$ -viertel Platte (17) und darauf folgend ein weiterer Polarisationsstrahlteiler (18), der das austretende Licht zu weiteren Kamerasensoren (19, 20) lenkt. Auch diese beiden Kamerasensoren (19, 20) zeichnen jeweils zueinander um  $180^\circ$  phasenverschobene Interferenzstreifenmuster auf. Gegenüber mit den Kamerasensoren (15, 16) aufgezeichneten Mustern sind diese jedoch aufgrund der Polarisationsdrehung der  $\lambda$ -viertel Platte (17) jeweils um  $90^\circ$  phasenverschoben. Insgesamt werden somit vier Streifenmuster aufgezeichnet, die zueinander jeweils um  $90^\circ$  phasenverschoben sind.

Ist der angetastete Meßpunkt der Objektoberfläche (10) wie in Fig. 1 dargestellt gerade im Fokus des Objektivs (8) angeordnet, so ist die Streifenbreite, bzw. die Streifenperiode, unendlich. Wird der angetastete Meßobjektbereich um eine Verschiebung  $\Delta X$  aus dem Fokus des Objektivs (8) bewegt, entstehen Streifen mit einem Gangunterschied  $\Delta F$  über der halben Öffnungshöhe des Objektivs (8), wobei zwischen dem Gangunterschied  $\Delta F$  und der Verschiebung  $\Delta X$  der Zusammenhang

$$\Delta F = \Delta X / 2K^2$$

gilt, wobei  $K = F/Y$  die Öffnungszahl des Objektivs ist.

Dieser Gangunterschied führt zu den Streifenmustern auf den Kameradetektoren (15, 16, 19, 20). Die Periodizität, d. h. die Streifenbreite, ist dabei unabhängig von der Orientierung der Objektoberfläche (10) gegenüber der optischen Achse (5) des Objektivs (8). Eine Drehung der Meßobjektfläche (10) um eine senkrecht

zur Zeichenbene liegende Achse führt lediglich zu einer Wanderung der Streifen auf den Detektoren.

Aus den Bildern der vier Kameras (15, 16, 19, 20) wird in einem Rechner (21) Betrag und Richtung der Verschiebung  $\Delta X$  berechnet. Aus diesen Werten wird dann ein Fokussteuersignal gewonnen, das über einen hier als Motor (22) dargestellten Fokusantrieb das Meßobjekt soweit verschiebt, bis sich der angetastete Objektpunkt im Fokus (9) des Objektivs (8) befindet.

Zur Berechnung der Verschiebung wird zunächst mit dem in der Interferometrie häufig gebräuchlichen Vier-Stufen-Auswertealgorithmus, der beispielsweise in der Dissertation von B. Dörband, Universität Stuttgart, 1986 beschrieben ist, zu jedem Kamerapixel ein Phasenwert berechnet (die vier Kameras liefern genau vier um jeweils  $90^\circ$  phasenverschobene Interferenzmuster). Dazu ist eine genaue Kenntnis der Anordnung der vier Kameras zueinander erforderlich. Die Streifenfrequenz ist dann direkt proportional zur Ableitung der Phasenwerte innerhalb einer jeden Streifenperiode. Der Betrag der Ableitung (Steigung der Phasenwerte senkrecht zur Streifenrichtung) ist dann proportional zum Betrag der Verschiebung  $\Delta X$  und das Vorzeichen der Ableitung bestimmt die Verschiebungsrichtung.

Das anhand der Fig. 1 beschriebene Ausführungsbeispiel benötigt insgesamt vier zweidimensionale Kameradetektoren, die beispielsweise als CCD-Chips ausgebildet sein können. Wollte man nur den Betrag der Verschiebung  $\Delta X$  bestimmen, so genügt es eine einzige Kamera hinter einem Analysator anzuordnen, dessen Durchlaßrichtung mit den Polarisationsrichtungen beider Teilstrahlengänge einen Winkel von  $45^\circ$  einschließt. Die zusätzlichen Kameras sind lediglich erforderlich, um auch die Richtung der Verschiebung  $\Delta X$  zu bestimmen. Dies wird in dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wesentlich eleganter gelöst. Diejenigen Komponenten, die denen im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 entsprechen, sind dort mit um die Zahl 100 größeren Bezugszeichen bezeichnet. Der Strahlengang zwischen der Leuchtdiode (101), dem Objekt (110) bis hin zum Interferometerausgang (111) ist identisch mit dem Strahlengang im zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel. Hinsichtlich dieses Strahlenganges sei daher auf die Beschreibung zu Fig. 1 verwiesen.

Hinter dem Interferometerausgang (111) ist ein Wollaston-Prisma (123) und nachfolgend ein Analysator (124) angeordnet, dessen Durchlaßrichtung mit den beiden Polarisierungen der Teilstrahlengänge (106, 107) gerade  $45^\circ$  beträgt, und damit beide Polarisationsanteile etwa gleich stark transmittieren läßt. Das Wollaston-Prisma (123) verursacht einen leichten Winkelsatz der beiden Polarisierungen zueinander. Beide Polarisierungen interferieren am Analysator (124). Aufgrund des Winkelsatzes der beiden Polarisationsrichtungen entsteht am Analysator (124) bereits ein Streifenmuster, wenn sich der angetastete Bereich des Meßobjektes (110) exakt im Fokus (109) des Objektivs (108) befindet. Die beiden möglichen Verschiebungsrichtungen der Objektoberfläche (110) relativ zum Objektiv (108) entlang der optischen Achse (105) des Objektivs haben eine Vergrößerung bzw. eine Verkleinerung der Streifenbreite zur Folge. Die zu messende, durch eine Fokusablage bedingte Streifenfrequenz ist damit als Modulationsphase auf der durch das Wollaston-Prisma (123) verursachten Trägerfrequenz aufmoduliert. Derartige Phasenmodulationen lassen sich einfach und sehr genau mit den in der DE-OS 40 14 019 beschriebenen Verfahren bestimmen.

Da sich die Streifen senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 2 erstrecken, ist in der Lichtintensität entlang der Streifenrichtung keine zusätzliche Information enthalten. Deshalb ist hinter dem Analysator (124) eine Zylinderlinse (125) angeordnet, deren Zylinderachse in Richtung des durch das Wollaston-Prisma (123) verursachten Strahlversatzes liegt. Entlang der Brennnlinie dieser Zylinder-Linse ist ein einziger Zeilensensor (115), eine Diodenzeile angeordnet. Ein Rechner (121) liest den Zeilensensor (115) aus und berechnet die Modulationsphase des vom Sensor (115) aufgezeichneten Helligkeitsmuster durch Faltung und bestimmt anschließend die Modulationsfrequenz. Aus dieser Modulationsfrequenz wird wiederum ein Fokussteuersignal gewonnen, das auf einer hier nicht dargestellten Art und Weise eine Verschiebung zwischen dem Objektiv (108) und dem Meßobjekt (110) bewirkt, bis sich der angetastete Bereich des Meßobjektes (110) im Fokus (109) des Objektivs (108) befindet. Da die Verschiebung zwischen Objektiv und Meßobjekt aus der eingangs genannten Literaturstelle bekannt ist, braucht darauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen zu werden. Die Berechnung der Modulationsphase erfolgt mit den in der DE-OS 40 14 019 beschriebenen Verfahren, auf die hiermit ausdrücklich Bezug genommen wird.

Da im Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 das Interferenzmuster mit einem einzigen Zeilensensor (115) aufgezeichnet wird und bei solchen Zeilensensoren durchaus Pixelfrequenzen von einigen MHz erreichbar sind, sind bei diesem Ausführungsbeispiel Meßfrequenzen bis zu einigen 10 kHz erreichbar. Damit ist dieser Sensor auch in der Schwingungsmeßtechnik einsetzbar.

Der Meßkopf in Fig. 3 hat eine Doppel-Paßanordnung. Wie in den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen erzeugt ein Kollimator (202) einen kollimierten Lichtstrahl der Leuchtdiode (201). Über einen Polarisationsstrahlteiler (203) und einen Spiegel (204) wird der kollimierte Lichtstrahl in zwei parallele Teilstrahlengänge (206, 207) aufgespalten, die über ein Objektiv (208) in Richtung auf das Objekt (210) fokussiert werden. Die reflektierten Teilstrahlenbündel (206, 207) durchlaufen nach der Überlagerung durch den Polarisationsstrahlteiler (203) zunächst eine  $\lambda/4$  Platte (212) und werden anschließend von einem senkrecht zum Strahlengang angeordneten Spiegel (213) in sich selbst reflektiert. Aufgrund des zweimaligen Durchganges durch die  $\lambda/4$  Platte (212) wird die Polarisation beider Teilstrahlengänge um  $90^\circ$  gedreht, so daß sie nach nochmaliger Aufspaltung am Polarisationsstrahlteiler (203) ein zweites Mal in Richtung auf das Objekt (210) fokussiert werden. Nach der zweiten Reflexion am Meßobjekt (210) werden beide Teilstrahlengänge vom Polarisationsstrahlteiler (203) ein zweites Mal überlagert und von einem kollimierten Eingangsstrahlengang angeordneten 50%-Strahlteiler (214) zum Interferometerausgang ausgespiegelt. Im Interferometerausgang sind wie im zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel nacheinander ein Wollaston-Prisma (223), ein Analysator (224), eine Zylinderlinse (225) und ein Zeilensensor (215) angeordnet. Analog zum Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 erzeugt die Strahlaufspaltung durch das Wollaston-Prisma (223) ein Muster mit einer Trägerfrequenz, dem die Information über die Fokusablage des Meßobjektes (210) als Phasenmodulation überlagert ist. Die Frequenz dieser Phasenmodulation wird im Auswerterechner (221) mit den bekannten Algorithmen berechnet und daraus ein Fokussteuersignal für eine Relativ-Verschiebung zwischen dem Meßobjekt (210) und dem Objektiv

(208) erzeugt. Aufgrund der Doppelpaßanordnung, d. h. der Tatsache, daß das Meßlicht die Teilstrahlengänge (206, 207) jeweils zweimal in der gleichen Richtung durchläuft, ist bei dem Sensor die Meßempfindlichkeit, d. h. die Genauigkeit, mit der die Fokusablage bestimmt werden kann, verdoppelt. Gleichzeitig wird die bei einer Kippung des Meßobjektes (210) relativ zur optischen Achse (205) des Objektivs (208) bewirkte Wanderung des Interferenzmusters auf dem Sensor (215) gerade kompensiert. Das mit dem Sensor (215) detektierte Muster ist daher unabhängig von dem Winkel zwischen der optischen Achse (205) und dem Meßobjekt (210).

In den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen ist für die Zerlegung des kollimierten Eingangsstrahlenganges in zwei zueinander versetzte parallele Teilstrahlengänge jeweils eine Kombination aus einem Polarisationssteilerwürfel (3, 103, 203) und einem Spiegel (4, 104, 204) vorgesehen. Zur Reduzierung des Bauteile- und des Justageaufwandes ist in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 4a eine dicke planparallele Platte (303) vorgesehen. Die dem Objektiv (308) zugewandte Fläche der planparallelen Platte (303) ist teilweise mit einer polarisationsteilenden Schicht (303a) und die dem Objektiv (308) abgewandte Fläche der planparallelen Platte ist etwa zur Hälfte mit einer hochreflektierenden Schicht (303b) versehen. Das unpolarisierte, kollimierte Eingangsstrahlenbündel (302) wird beim Austritt aus der planparallelen Platte (303) in einen ersten, die polarisationsteilende Schicht (303a) transmittierenden Teilstrahlengang (306) und einen zweiten, an der polarisationsteilenden Schicht (303a) reflektierten Teilstrahlengang mit senkrechter Polarisation aufgeteilt. Dieser zweite Teilstrahlengang (307) ist nach Reflexion an der hochreflektierenden Schicht (303b) und Austritt aus der planparallelen Platte (303) parallel zum ersten Teilstrahlengang (306) ausgerichtet.

Das in der Fig. 4b dargestellte Ausführungsbeispiel hat zur Aufteilung des einfallenden Strahlenbündels (402) in zwei zueinander parallele Teilstrahlengänge (406, 407) ein aus zwei Prismenteilen (403, 404) zusammengesetztes Prisma. Zwischen den beiden Prismenteilen (403, 404) ist eine polarisationsteilende Schicht (403a) in einer Ebene angeordnet, die die optische Achse (405) des Objektivs (408) enthält. Beide Teilstrahlengänge (406, 407) mit zueinander senkrechter Polarisation erfahren innerhalb der Prismenkombination jeweils drei Reflexionen und durchlaufen gleiche Glaswege sowohl vor Eintritt ins Objektiv als auch nach Eintritt ins Objektiv (408). Dadurch haben beide Teilstrahlengänge (406, 407) die selbe Intensität, so daß auf einem hier nicht dargestellten, im Interferometerausgang (411) angeordneten Sensor ein Interferenzmuster mit einem starken Modulationskontrast entsteht.

Da in diesem Ausführungsbeispiel die optischen Weglängen beider Teilstrahlengänge vor und nach dem Eintritt ins Objektiv (408) jeweils gleich sind, kann hier durch Verwendung von Zylinderlinsen im Interferometereingang (402) auf dem Objekt eine Brennnlinie erzeugt werden. Mit Hilfe eines zweidimensionalen Kamerasensors (nicht dargestellt) im Interferometerausgang (411) ist dann die simultane Topographiemessung entlang dieser Fokuslinie möglich. Im Interferometerausgang ist dazu noch eine Abbildungsoptik erforderlich, die jeweils einen Punkt der Fokuslinie auf eine Zeile der Kamera abbildet.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 ist sehr ähnlich zu dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 aufgebaut. Da-



her sind hier diejenigen Komponenten, die denen aus Fig. 2 entsprechen mit denselben Bezugszeichen versehen. Hinsichtlich dieser Komponenten sei daher auf die Beschreibung zu Fig. 2 verwiesen. Der entscheidende Unterschied zu den bisherigen Ausführungsbeispielen besteht darin, daß in Fig. 5 ein 50% Strahlteilerwürfel (504) (anstelle des Spiegels (104)) im Ringinterferometer angeordnet ist, mit dessen Hilfe zusätzlich eine Art Michelsoninterferometer aufgebaut ist. Hinter einem für das Ringinterferometer nicht benötigten Ausgang des Strahlteilerwürfels ist ein ebener Spiegel (526) angeordnet, und hinter dem zweiten zusätzlichen Ausgang des Strahlteilerwürfels (504) ist eine zweite aus Wollastonprisma (523), Polarisator (524), Zylinderlinse (525) und Zeilensensor (515) bestehende Detektionsanordnung vorgesehen. Auf dem zusätzlichen Zeilensensor entsteht ein Interferenzmuster durch Überlagerung der durch beide Strahlteilerprismen (103, 504) transmittierten und über das Objekt (110) geführten Teilwelle einerseits und der am Polarisationsstrahlteiler (103) und am Spiegel (526) reflektierten Teilwelle andererseits.

Während die auf dem ersten Zeilensensor (115) interferierenden Teilwellen beide über das Meßobjekt (110) geführt sind und daher beide den bei der Reflexion am optisch dichteren Medium der Probe (110) auftretenden Phasensprung enthalten, ist dieser Phasensprung nur in der über das Objekt (110) geführten Teilwelle der am zweiten Zeilensensor (515) interferierenden Teilwellen enthalten. Aus der im Auswerterechner (121) gebildeten Differenz beider Interferenzmuster läßt sich daher der am Objekt (110) auftretende Phasensprung ermitteln. Da die optischen Weglängen der am zweiten Zeilensensor (515) interferierenden Teilwellen stark unterschiedlich sind, ist hier eine Lichtquelle, z. B. eine Laserdiode (501), mit großer zeitlicher Kohärenz erforderlich.

Die beschriebenen Meßvorrichtungen haben alle gemeinsam, daß die Fokusablage anhand der Streifenfrequenz der entstehenden Interferenzmuster ermittelt wird. Bei transparenten Meßobjekten mit mehreren unterschiedlichen Brechzahlen aufweisenden Schichten wird an jeder Schichtgrenze aufgrund des Brechzahlspunges ein Teil des Lichts reflektiert. Jede Reflexion führt dann aufgrund der unterschiedlichen Fokusablagen der jeweiligen Grenzschicht zu einer eigenen Modulationsfrequenz. Werden diese Modulationsfrequenzen durch eine Analyse der Ortsfrequenzen selektiert, so erhält man auch eine Information über die Fokusablagen der einzelnen Grenzschichten und damit über die Dicken der einzelnen Schichten. Da die Analyse der Ortsfrequenzen einfacher bei einer inkohärenten Addition der an unterschiedlichen Grenzschichten reflektierten Teilwellen durchführbar ist, sollte die Lichtquelle eine geringe zeitliche Kohärenz aufweisen. Damit sind die erfindungsgemäßen Meßvorrichtungen beispielsweise auch zur Schichtdickenmessung bei schichtweise aufgebauten Kunststoffolien einsetzbar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion von Ablagen oder Ablageänderungen eines Objektes (10) vom Brennpunkt (9) eines Objektivs (8), wobei
  - das in zwei parallelen und im gleichen Abstand zur optischen Achse (5) des Objektivs (8) liegenden Teilstrahlengängen (6, 7) geführte Licht vom Objektiv (8) in Richtung des Objektes (10) fokussiert wird,
  - das reflektierte Licht beider Teilstrahlen-

gänge (6, 7) überlagert und detektiert wird, und — die Ablage oder Ablageänderung anhand der Periodenfrequenz oder der Ableitung der Phasenwerte des an mindestens einem Detektor (15, 16, 19, 20) entstehenden Interferenzmusters bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Frequenz des Streifenmusters ein Signal gewonnen wird, das eine Relativ-Bewegung zwischen dem Objektiv (8) und dem Meßobjekt (10) in Richtung der optischen Achse (5) des Objektivs (8) bewirkt.

3. Vorrichtung zur Detektion von Ablagen oder Ablageänderungen eines Objektes (10) vom Brennpunkt (9) eines Objektivs (8), wobei

- das Objektiv (8) das in zwei parallelen und im gleichen Abstand zur optischen Achse (5) liegenden Teilstrahlengängen (6, 7) geführte Licht in Richtung des Objektes (10) fokussiert und das am Objekt (10) gestreute oder reflektierte Licht aufammelt, mit

- einem Strahlteiler (3), der das Licht einer Lichtquelle (1) in beide Teilstrahlengänge (6, 7) lenkt,

- Mitteln (14, 18) zur interferenzfähigen Überlagerung des am Objekt (10) reflektierten Lichts beider Teilstrahlengänge (6, 7)

- mindestens einem Sensor (15, 16, 19, 20) zur Detektion des durch die interferenzfähige Überlagerung entstehenden Musters und

- einem Auswerterechner (21) zur Berechnung der Periodizität oder der Ableitung der Phasenwerte des Musters.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlteiler (3) ein Polarisationsstrahlteiler ist, und daß der Polarisationsstrahlteiler (3) das am Objekt (10) gestreute oder reflektierte Licht beider Teilstrahlengänge (6, 7) überlagert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß hinter dem Polarisationsstrahlteiler (203) im überlagerten Bereich der Teilstrahlengänge eine Viertel-Wellenlängen-Platte (212) und ein Spiegel (213) angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Strahlteiler (214) vorgesehen ist, der das Licht zu dem mindestens einen Sensor (215) lenkt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4—6, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem mindestens einen Sensor (215) ein Analysator (224) vorgesehen ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4—6, dadurch gekennzeichnet, daß vier Sensoren (15, 16, 19, 20) zur Detektion von vier jeweils um 90° phasenverschobenen Mustern vorgesehen sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein einziger Sensor (115) vorgesehen ist, und daß vor dem Analysator ein Wollaston-Prisma (123; 223) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7-9, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Sensor (115, 215) ein Zeilensensor ist, der entlang der Fokuslinie einer jeweils vorgeschalteten Zylinderlinse (125, 225) angeordnet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisationsstrahlteiler eine planparallele Platte (303) mit einer polarisationsabhängig reflektierenden und transmittierenden Be-

schichtung (303a) ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein zeitlich teilkohärentes Licht emittierende Lichtquelle (1) vorgesehen ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisationsstrahlteiler ein zusammengesetztes Prisma (403, 404) ist, in dem ein einfallender Strahl (402) unabhängig von der Polarisation drei Reflexionen erfährt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Licht eines jeden Teilstrahlenganges (6, 7) nach der Reflexion am Objekt (10) im jeweils anderen Teilstrahlengang (7, 6) geführt ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzlicher Strahlteiler (504) vorgesehen ist, daß in einem Ausgang des zusätzlichen Strahlteiler (504) eine reflektierende Referenzfläche (526) und in einem zweiten Ausgang des zusätzlichen Strahlteilers (504) ein zusätzlicher Sensor (515) angeordnet ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65



- Leerseite -

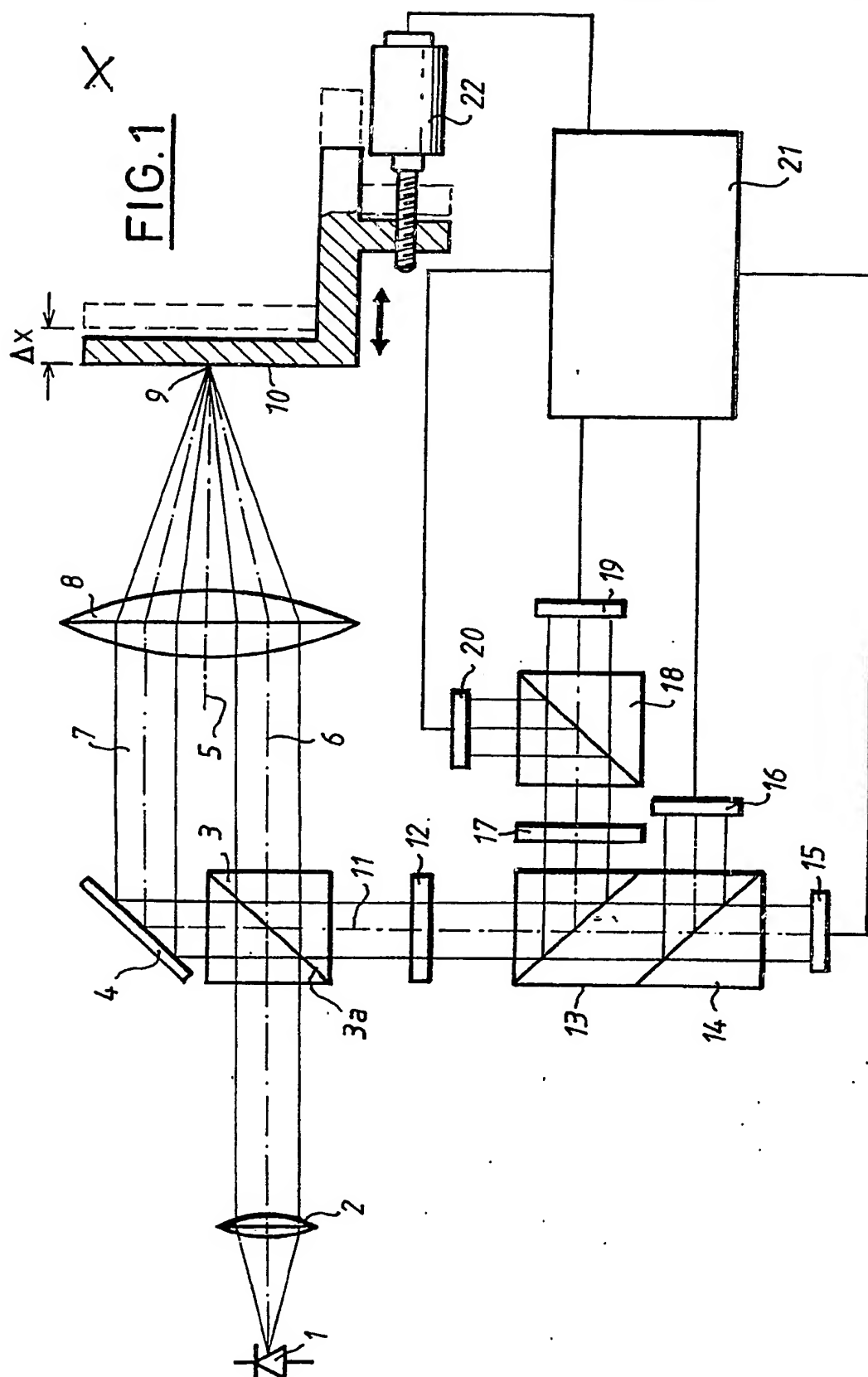


FIG. 2

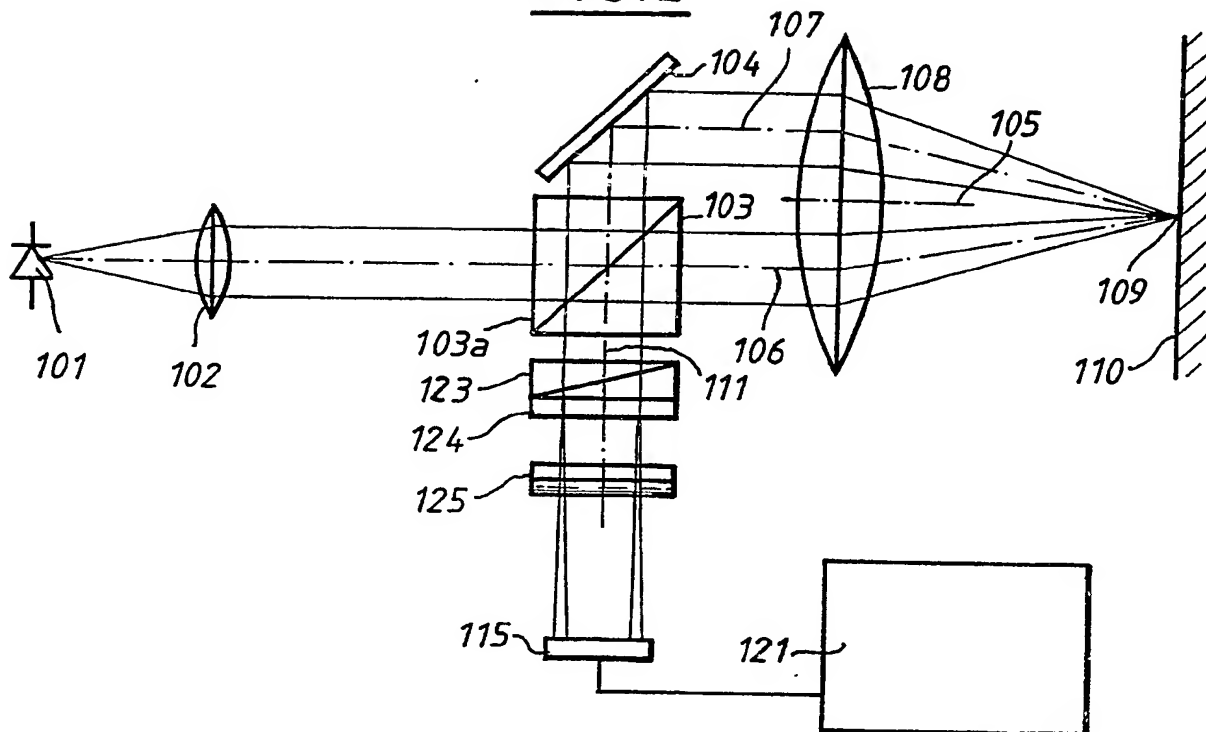
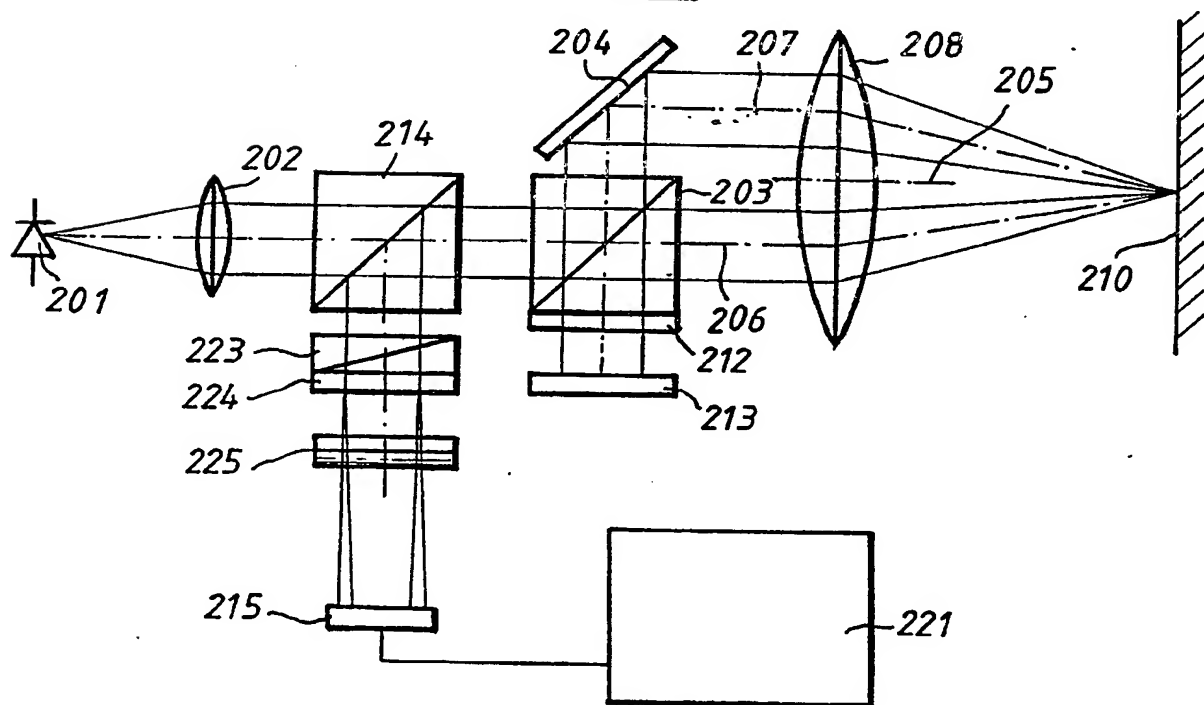


FIG. 3



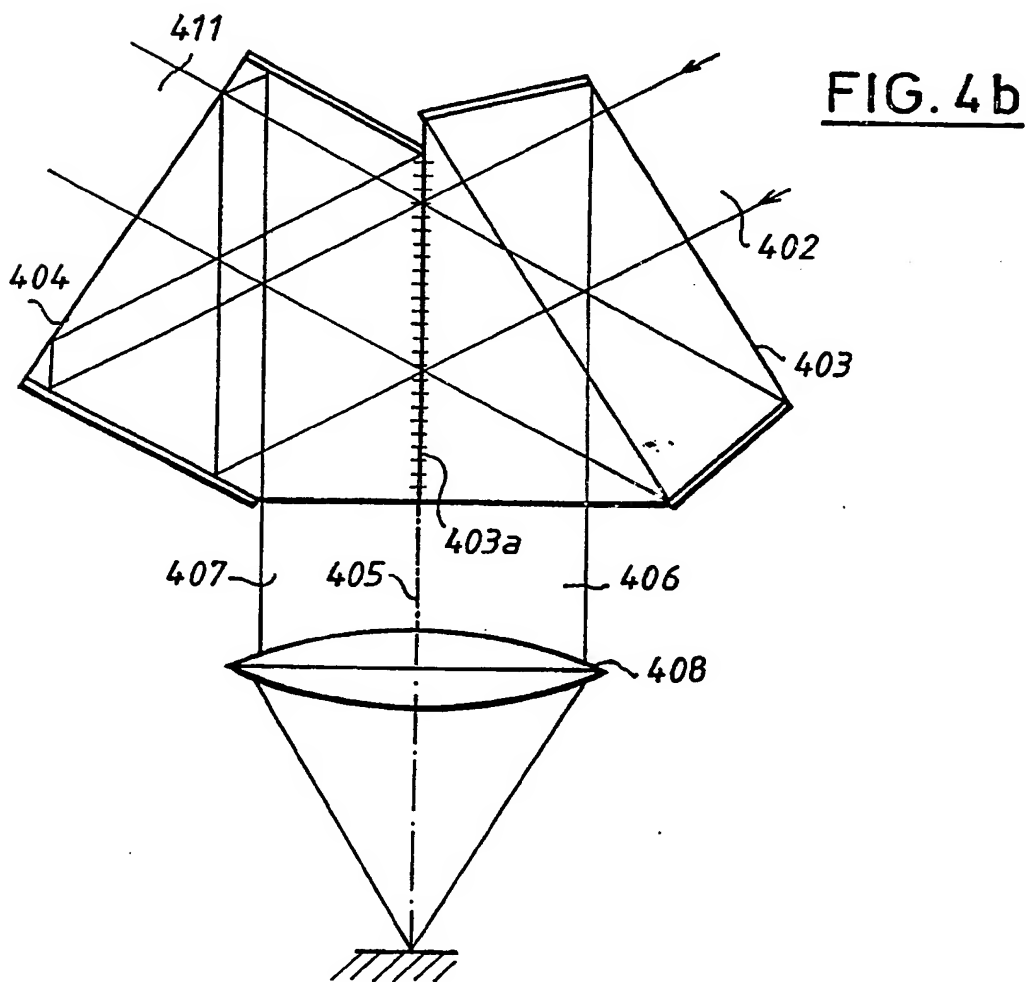
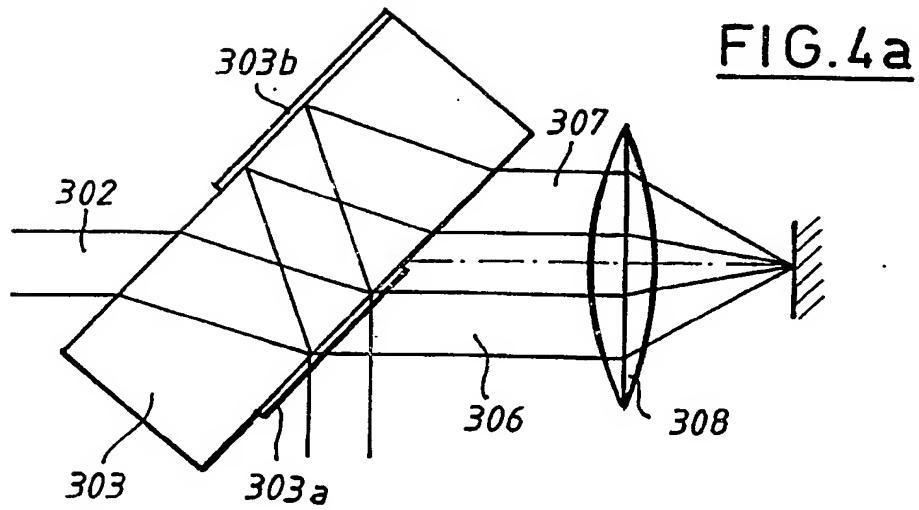


FIG. 5

